

AUBE '01

12TH INTERNATIONAL
CONFERENCE ^{ON} AUTOMATIC
FIRE DETECTION

March 25 - 28, 2001
National Institute Of Standards and Technology
Gaithersburg, Maryland U.S.A.

PROCEEDINGS

Editors: Kellie Beall, William Grosshandler and Heinz Luck



NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

Großer, J. ; Kubon, C. ; Linden, O. ; Hölemann, H.

Bergische Universität – GH Wuppertal

Department of Safety Engineering (Fachbereich Sicherheitstechnik); Section for Fire and Explosion Protection (Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz)

Measurements for fire detection by mean of gas sensors in an insulation material factory

Abstract

The characteristics of fire detection systems is improved by a proper application of gas sensors. Particularly in surroundings, where dust or smoke produced by industrial processes cause false alarms in conventional smoke detectors, gas sensors show advantages.

Analysis of the background level in comparison to the firesignals is necessary in many fields of application. As an example tests carried out in a plant producing pulp-based insulation material are described. As a result statements on the suitability of gas sensors for fire detection are made. Investigations on long term stability started.

1 Einleitung

Gassensoren haben sich bereits in vielen verschiedenen Anwendungsgebieten etabliert, so z.B. in der Klimatechnik, zur Messung explosionsfähiger Atmosphären oder zur schnellen Gasetektion. In der Brandmeldetechnik konnte sich diese Technologie bisher nicht durchsetzen, obwohl es bereits 1983 Ansätze für den Einsatz von Halbleitergassensoren in der Brandmeldetechnik gab [1]. Dies liegt zum einen am relativ hohen Preis der Sensorelemente und zum anderen an der geringen Langzeitstabilität, dem problematischen Ansprechverhalten sowie dem hohen Stromverbrauch der meisten Sensoren.

Durch die konsequente Weiterentwicklung der Sensortechnik in den letzten Jahren ist es jedoch möglich geworden, preiswerte und zuverlässige Gassensoren mit immer geringerem Energieverbrauch in großen Stückzahlen anzubieten. Hieraus eröffnet sich

die Möglichkeit, freigesetzte Gase zur Detektion von Bränden zu nutzen. Versuche im Brandraum des VdS Schadenverhütung, Köln haben gezeigt, daß Gassensoren als Detektorelemente bei sich langsam entwickelnden Schwel- und Glimmbränden wesentlich schneller und signifikanter ansprechen, als herkömmliche Brandmelder auf Basis einer Detektion von Flammen, Rauch oder Wärme [2]. Die Freisetzung von Gasen bei verschiedenartigen Bränden, wie z.B. Zigarettenglimmbrand und offenen Benzinbrand, ist ebenso unterschiedlich wie charakteristisch. Durch die simultane Erfassung und Auswertung verschiedener Brandgase kann eine Täuschung der Brandmelder durch brandähnliche Vorgänge, wie z.B. Schweißen oder Rauchen, verhindert werden. Erfolgreich eingesetzt werden solche mit H₂-, CO- und NO_x-sensitiven Sensoren bestückten Melder bereits in Bekohlungsanlagen von Braunkohlenkraftwerken.

Der Einsatz von Gassensoren in der Brandmeldetechnik bringt jedoch auch Probleme mit sich. Die Langzeitstabilität vieler Sensoren ist noch relativ unbekannt. Der Einfluß von aggressiven Dämpfen und abgelagerten Stäuben auf den Sensoren ist ebenfalls wenig untersucht. Für eine sichere Branddetektion ist weiterhin der Abstand zwischen den betriebsbedingten Hintergrundsignalen und den vom Brand verursachten Signalpegeln entscheidend. Untersuchungen zu diesem „Hintergrundrauschen“ von Gassensoren in den verschiedensten möglichen Einsatzgebieten sind bisher nicht bekannt. Diese Probleme sollen im Rahmen des Forschungsprojektes „Untersuchungen über den Einsatz von Gassensoren in der Brandmeldetechnik“ an der Bergischen Universität – GH Wuppertal bearbeitet werden [3].

2 Ziele des Projekts

Um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Sensorprinzipien herauszufinden, wird durch Langzeitversuche mit Gassensoren und herkömmlichen Detektoren das „Hintergrundrauschen“ in verschiedenen potentiellen Anwendungsbereichen erfaßt. Hierbei sollen zum einen die Signale von brandgasspezifischen Sensoren (CO, CO₂, H₂, NO_x, CH₄) in der Umgebungsluft erfaßt werden. Zum anderen werden Stör- und Täuschungsgrößen, sowie Sensorgifte in den Umgebungen ermittelt, der

Wartungsaufwand untersucht und das Verhalten der Sensoren bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) beurteilt. Stör- und Täuschungsgrößen können beispielsweise auch Abgase von Kraftfahrzeugen oder Gabelstaplern sein.

Gleichzeitig zu den Messungen des „Hintergrundrauschens“ wird eine Literaturrecherche zu den Hintergrundkonzentrationen in der allgemeinen Umgebungsluft sowie in verschiedenen Anwendungsbereichen durchgeführt. Hierbei werden vor allem Messungen des Landesumweltamtes und des berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BIA) zu Hilfe genommen.

Da an den Meßstandorten neben dem Hintergrundrauschen im allgem. keine Brände aufgezeichnet werden können, werden mit der Meßapparatur typische Brände sowie genormte Testfeuer in Brandräumen aufgezeichnet und mit dem „Hintergrundrauschen“ an den Meßstandorten verglichen.

Um die bei der Interpretation der Meßergebnisse vermuteten Querempfindlichkeiten und Täuschungsgrößen näher zu untersuchen, werden die Sensoren in einer Prüfkammer gezielt mit Täuschungssubstanzen beaufschlagt. Dabei handelt es sich um Substanzen, die zum Teil schon bekannt sind, zum Teil aber auch aus den Langzeitversuchen heraus vermutet werden.

3 Aufbau der Meßapparatur

Für die Durchführung dieser Langzeitversuche werden die verschiedenen Sensorprinzipien in unterschiedlichen baulichen Ausführungen eingesetzt. Im einzelnen kommen folgende Sensoren zum Einsatz:

Sensor	Zielgas	Querempfindlichkeiten	Meßbereich	Hersteller Besonderheiten
Halbleitersensor mit Zinndioxidsubstrat (1. SnO ₂)	NO _x ; O ₃	Alkohole; HC	ppm	Herst: UST [4] Interdigitalstrukturen der Substratkontakte
Halbleitersensor mit Zinndioxidsubstrat (2. SnO ₂)	HC NO ₂	NH ₃	ppb – ppm	Herst: UST [4]

Halbleitersensor mit Galiumoxidsubstrat (Ga_2O_3)	H_2	CH_4 ; Lösungsmittel	ppm	Herst: SIEMENS [5] Hochtemperatursensor für Überwachung von Gasturbinen
elektrochemische Zelle (EC-CO)	CO	Ethanol; H_2	0-500 ppm	Herst: Sensoric [6]
elektrochemische Zelle (EC-NO)	NO	keine Angabe	0-100 ppm	Herst: Sensoric [6]
elektrochemische Zelle (EC-NH ₃)	NH ₃	keine Angabe	0-100 ppm	Herst: Sensoric [6]
Infrarot-Meßzelle mit Referenzdetektor (IR-CO ₂)	CO ₂		0-5000 ppm	Herst: Sensor Devices [7]; Verwendung zur MAK-Überwachung
Infrarot-Meßzelle mit Referenzdetektor (IR-HC)	HC		0-4 %	Herst: Sensor Devices [7]; Verwendung zur UEG-Überwachung

Zusätzlich wird auf jedem Sensorarray ein Rauchmelder nach dem Streulichtprinzip mit separatem Ausgang der Meßgrößen genutzt. Weiterhin gemessen werden Temperatur und relative Luftfeuchte.

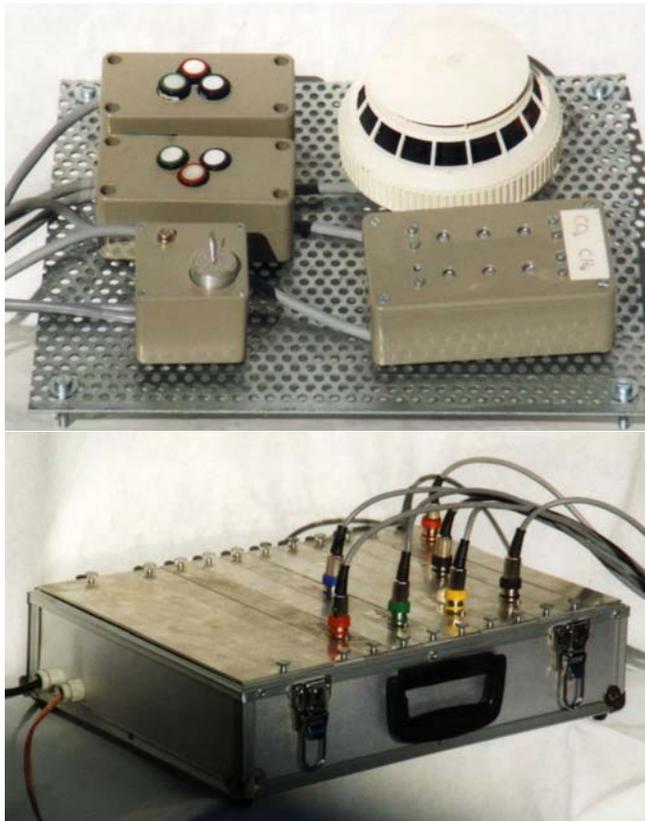


Abb. 1 – Sensorarray und Meßkoffer

Alle Sensoren sind in einem Sensorarray gemäß Abb. 1 zusammengefaßt. Die einzelnen Sensoren des Arrays werden an einen Meßkoffer angeschlossen, der bis zu 2,5m abgesetzt vom Sensorarray angeordnet werden kann und die komplette Sensorelektronik enthält. Die Meßapparatur wird über einen Lowcost Industriebus (M-Bus) an einen Personalcomputer angeschlossen. Der M-Bus ist eine protokollunabhängige Zweidraht-Schnittstelle mit integrierter Fernspeisung für den Anschluß mehrerer mikroprozessor-basierter Endgeräte.

4 Anwendungsbereiche

Die Umgebungen, die mit dem Meßsystem untersucht werden, umfassen sowohl allgemeine Anwendungsbereiche wie Büros, Tagungsräume und Heimbereiche als auch spezielle Anwendungsbereiche. In den allgemeinen Anwendungsbereichen wird besonderes Augenmerk auf Raucher- und Nichtraucherbereiche und die Einflüsse von Kopierern, Drucker und Reinigungsmitteln gerichtet. Als spezielle Anwendungsbereiche werden Bereiche der Lagerwirtschaft, öffentliche Gebäude mit hohen Menschenansammlungen und industrielle Fertigungseinrichtungen mit rauen Umgebungsbedingungen mit überdurchschnittlicher Staub- und Aerosolbelastung untersucht. Es handelt sich hierbei um Bereiche, in denen herkömmliche Brandmelder große Probleme bereiten.

Zur Zeit sind bzw. waren Meßapparaturen in einem Motorenprüfstand, in Büro-, Labor- und Heimbereichen, in der Automobilindustrie (Härteanlagen, Erodieranlagen, Emulsionsaufbereitung, Garagen), über verschiedenartigen Schweißarbeitsplätzen und in einem Dämmstoffwerk installiert. In dem folgenden Abschnitt werden exemplarisch die Ergebnisse der Messungen in einem Dämmstoffwerk vorgestellt.

5 Untersuchungen in einem Dämmstoffwerk

5.1 Dämmstoffe

Die Dämmplatten bestehen aus Altpapierflocken, die mit Jutefasern verstärkt werden. Zudem werden diverse Zusatzstoffe in geringen Mengen beigegeben: Ligninsulfonat wird als Bindemittel eingesetzt, Tallharz und Aluminiumsulfat wirken wasserabweisend, ein Borsäure/Boraxpuffer dient einerseits als Brand- und Glimminhibitoren, andererseits auch als Pilzschutzmittel (Fungizid).

Herstellung:

Altpapier wird zerkleinert und im Wirbelstrom mit Borax und Borsäure vermischt. Die Jutesäcke werden zu Fasern zerrissen, danach werden Aluminiumsulfat, Tallharz und Ligninsulfat beigegeben. Die Komponenten werden vermischt und in einer

Verfahrensstraße zu Platten gepreßt, mit heißem Wasserdampf getrocknet und formatiert.

Beim Zerkleinern des Altpapiers und beim Zerkleinern der Dämmstoffplatten sowie im gesamten Verfahrensablauf entsteht viel Staub. Im Laufe einer Woche bildet sich schnell eine Staubschicht von 3 bis 5cm. Vor allem auf den Stahlträgern lagert sich der fertigungstechnisch bedingte Staub ab. Am Wochenende kommt es zeitweise durch Vogelflug zu Staubaufwirbelungen, durch die ein Fehlalarm der Ionisationsmelder verursacht wird. Die Nutzung von Gassensoren als zusätzliches Branderkennungskriterium erscheint daher als sinnvoll.

Die Anlagen starten bei normaler Produktionslage gegen 8.00 Uhr morgens. Zur Mittagszeit werden die Anlagen vorübergehend heruntergefahren und laufen nach Beendigung der Mittagspause bis ca. 18.00 Uhr.

5.2 Branderkennung

Die Branderkennung erfolgt zur Zeit über Ionisationsrauchmelder, die an eine Brandmeldeanlage angeschlossen sind. Ein eventueller Alarm läuft tagsüber (während der Betriebszeiten) bei dem Pförtner und nachts direkt bei der Feuerwehr auf.

5.3 Meßorte und Installation

Im Dämmstoffwerk wurden zwei Meßapparaturen installiert. Ein Sensorarray wurde über einer Mühle zum Recycling von Altpapier aufgehängt. Die Papiermühle stellt den kritischsten Ort in diesem Dämmstoffwerk dar. Bei diesem Verfahrensschritt kommt es zum größten Staubanfall innerhalb des Produktionsprozesses verbunden mit starken Vibrationen. Das zweite Meßsystem wurde in dem sog. Technikum aufgebaut, wodurch Vergleiche zwischen den Hintergrundsignalen zweier ähnlicher Anlagen und den Meßwerten von Testbränden gezogen werden können. Das Technikum stellt die Versuchsabteilung dar, in der die gesamte Produktionsanlage verkleinert noch einmal aufgebaut ist (Abb. 2), um Untersuchungen zur Verbesserung der Dämmstoffe und der Produktionsprozesse durchführen zu können. Dort werden insbesondere auch

verschiedene Stoffe zum Brand- und Glimmschutz getestet, wozu Brände in den Dämmstoffen ausgelöst werden.

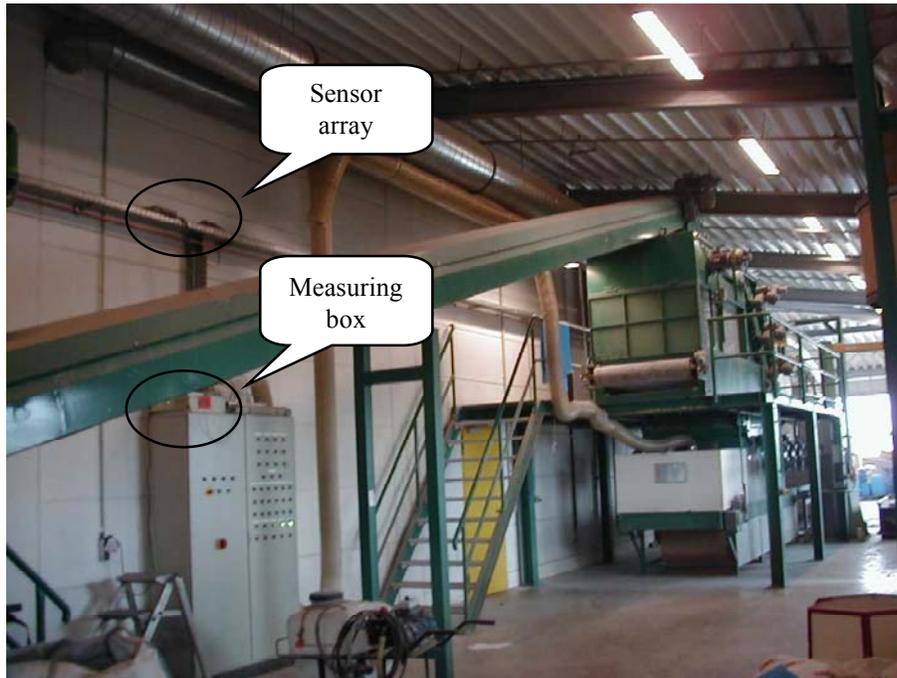


Abb. 2 – Meßapparatur im Technikum

5.4 Meßergebnisse

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen einen typischen Wochenverlauf ausgewählter Sensorsignale im Technikum mit einem Testbrand am Montag um 13.00 Uhr. Hieraus werden die Signalabstände sowie die Klassifikation der Sensoren abgeleitet. Auf der linken Ordinate ist jeweils das Sensorsignal über der Zeit aufgetragen. Die rechte Ordinate gibt die äquivalenten Konzentrationen für die ermittelten Sensorsignale bezogen auf das Zielgas des jeweiligen Sensors an, denen der Signalpegel bei Beaufschlagung mit dem reinen Gas entsprechen würde.

Das oberste Diagramm von Abb. 3 zeigt den Wochenverlauf des Ga_2O_3 -Sensors. Da Wasserstoff ein typisches Brandprodukt ist, sollte dies auch im Projektverlauf näher untersucht werden. Es ist jedoch in diesem Anwendungsfall ein unerwarteter Absinken des Leitwertes zu beobachten, das sich nur geringfügig von den Hintergrundsignalen unterscheidet. Es kann davon ausgegangen werden, daß wahrscheinlich NO_x detektiert

wurde. Der ansonsten relativ starke Hintergrundpegel ist durch das Cracken von organ. Hilfsstoffen (Lösungsmitteln) an der heißen Sensoroberfläche zu erklären.

Der erste SnO₂-Sensor besitzt eine hohe Sensitivität für das reduzierende Gas NO_x, was sich in der kurzzeitigen Leitwertabnahme zeigt. Der auf das Brandereignis folgende starke Leitwertanstieg ist auf das Freiwerden von Kohlenwasserstoffen durch den Glimmbrand zurückzuführen. Kohlenwasserstoffe sind typische Brandprodukte bei

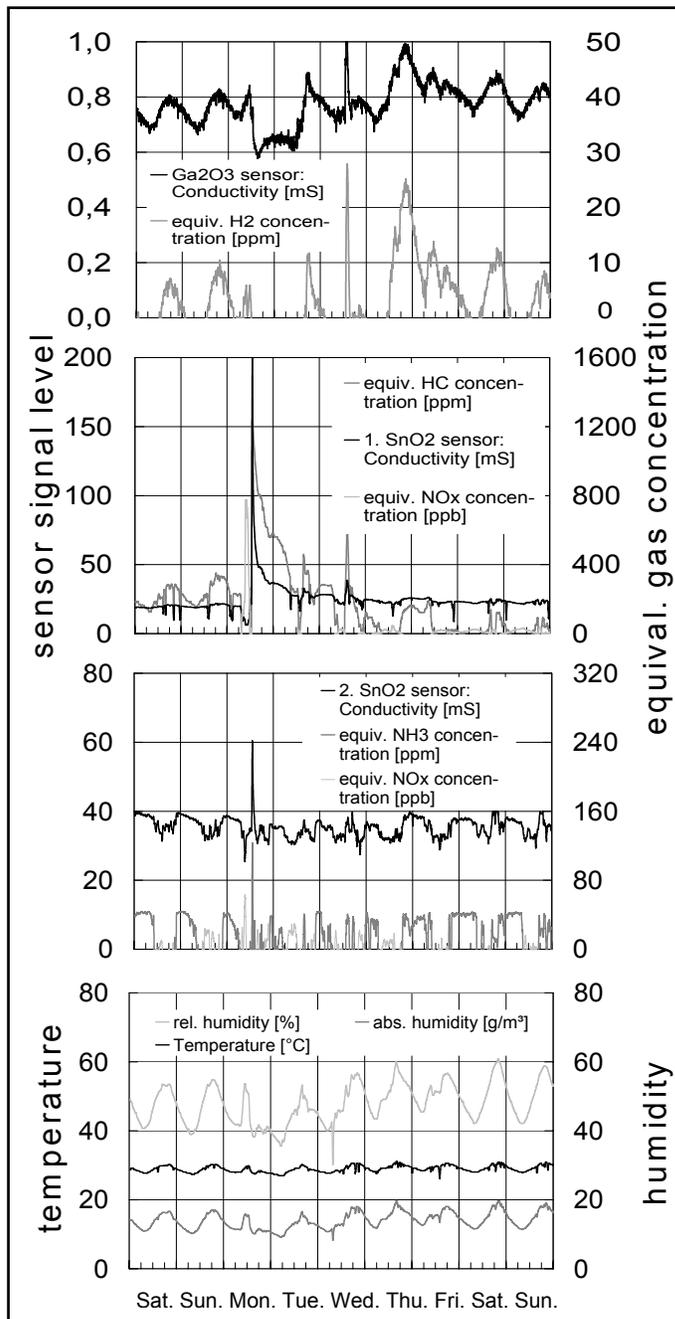


Abb 3 – Signalverlauf der Halbleitersensoren

Schmelbränden und eignen sich deshalb sehr gut zur Detektion in rauher Atmosphäre.

Ammoniak bzw. Amine sind ebenfalls Gase, die durch ihr oxidierendes Verhalten auf der Sensoroberfläche sehr gut zur Detektion von Bränden genutzt werden können. Einen entsprechenden zur Ammoniakdetektion optimierten Sensor stellt der zweite SnO₂-Sensor dar. Auch hier hebt sich das Signal des Brandes deutlich vom Hintergrundsignal ab. Die zyklischen Schwankungen der Signale der Halbleitersensoren sind auf Änderungen der absoluten Luftfeuchte zurückzuführen. Diese Beeinflussung wurde bereits mehrfach nachgewiesen. Die Temperaturschwankungen können als Ursache ausgeschaltet werden, da die Sensoren temperaturgeregelt sind.

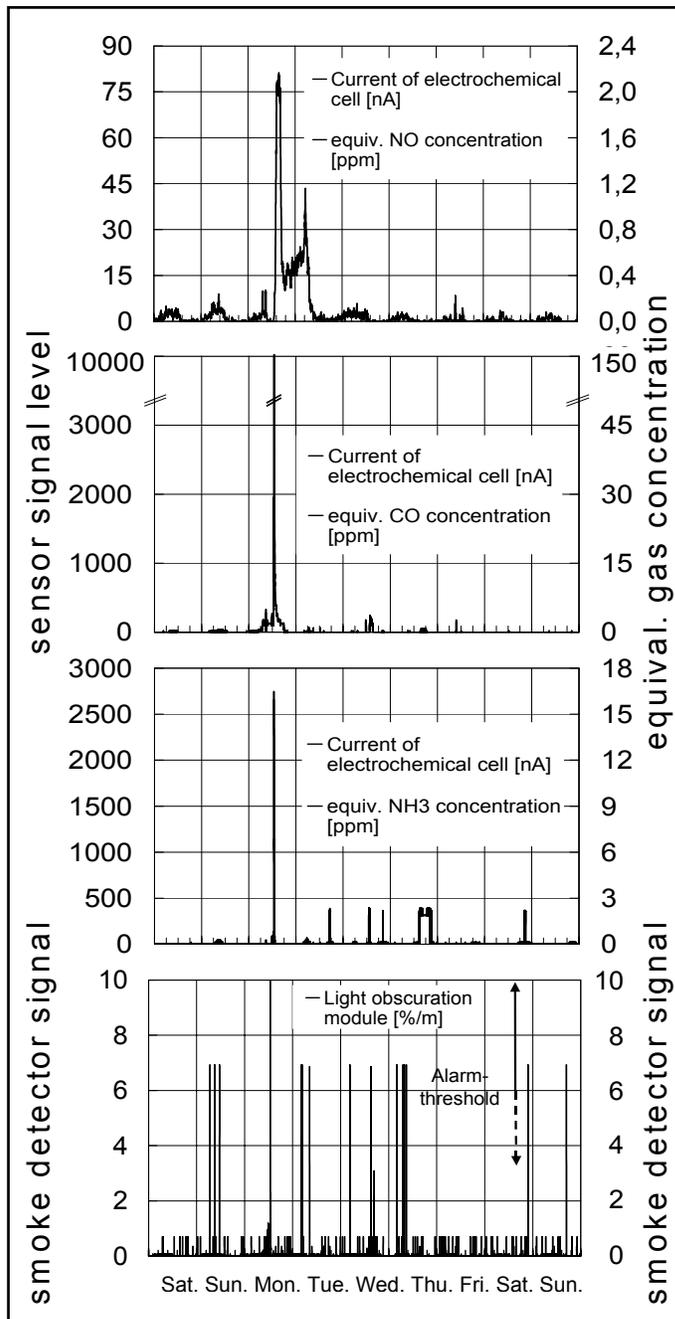


Abb 4 – Signalverlauf der elektrochemischen Zellen und des Rauchmelders

In Abbildung 4 sind die Signale der elektrochemischen Sensoren als zweite Gruppe der Gassensoren dargestellt. Als erstes Diagramm ist der Signalverlauf einer NO-empfindlichen Zelle dargestellt. Zwischen dem Brandereignis und den sonstigen Hintergrundsignalen ist ein sehr hoher Abstand zu sehen. Das langsame Abklingen des Brandsignals läßt vermuten, daß nach dem Brand nicht alle Schwelrückstände beseitigt wurden, so daß es in der Folgezeit zu weiteren Ausgasungen kam. Die elektrochemischen Sensoren für CO und NH₃ besitzen die größten Signalabstände bei diesem Testfeuer.

Um die gewonnenen Daten mit dem Verhalten der bisher üblichen Brandmeldetechnik vergleichen zu können, wurden die Meßwerte des OT-Melders ebenfalls aufgezeichnet. Der

Temperaturverlauf ist im untersten Diagramm von Abbildung 3 dargestellt und zeigt während des Brandes keinen signifikanten Anstieg. Die Rauchdichte dieses Melders ist dem untersten Diagramm von Abbildung 4 zu entnehmen. Darin ist der übliche Alarmbereich dieser Melder eingetragen. Die Alarmschwellen liegen herstellerabhängig

zwischen 3 bis 6 %/m. Deutlich zu erkennen ist eine Alarmauslösung während des Brandereignisses. In der dargestellten Woche hätte dieser Melder jedoch zusätzlich 14 weitere Alarme ausgelöst. Zu diesem Zeitpunkt war dieser Melder 3¹/₂ Monate installiert.

Die Signale der Infrarotmeßzellen sollen hier nicht weiter dargestellt werden, da sie keinerlei charakteristisches Verhalten auf das Brandereignis zeigten. Dies liegt beim CO₂-Sensor an den stark schwankenden Signalpegeln während des Betriebes. Die CO₂-Konzentration ist abhängig von Lüftung und der Anzahl der Personen, die sich im Raum aufhalten. Der HC-Sensor besitzt eine zu geringe Auflösung, um Konzentrationen der einzelnen Kohlenwasserstoffe im ppm-Bereich nachweisen zu können. Andere Ereignisse, wie Freisetzung von Lösungsmitteln, treten viel stärker in Erscheinung als das Brandereignis.

6 Ergebnisdiskussion

Die bisher vorgestellten Ergebnisse zeigen die zeitlichen Verläufe der Sensorsignale. Um eine endgültige Aussage über die Eignung der verschiedenen Sensoren treffen zu können, müssen die Signalabstände der einzelnen Sensortypen sowie deren sensorische und technischen Eigenschaften näher betrachtet werden. Eine grafische Übersicht der Brandsignalpegel der einzelnen Sensortypen im Vergleich zum maximalen Hintergrundsignal (Basis = 1) ist Abbildung 5 zu entnehmen, wobei sich deutlich die prinzipielle Eignung beider Sensorprinzipien zeigt.

Bei Halbleitersensoren ist vor allem der erste Typ zu bevorzugen. Er zeigt einen sehr starken Leitwertanstieg auf Schwelbrände. Auch sein Ansprechverhalten auf NO läßt eine Vermutung nahelegen, daß mit ihm auch offene Flammenbrände detektiert werden können. Sein vom Hersteller spezifiziertes Verhalten auf Ozon läßt jedoch auch Probleme an warmen Sommertagen erwarten, so daß Systeme mit nur einem Halbleitersensor schwierig beherrschbar sein werden. Das Verhalten der unterschiedlichsten Halbleitersensoren wird im weiteren Verlauf des oben genannten

Projektes noch näher untersucht, wenn eine größere Anzahl verschiedener Sensoren den genormten und neu konzipierten Testfeuern ausgesetzt werden.

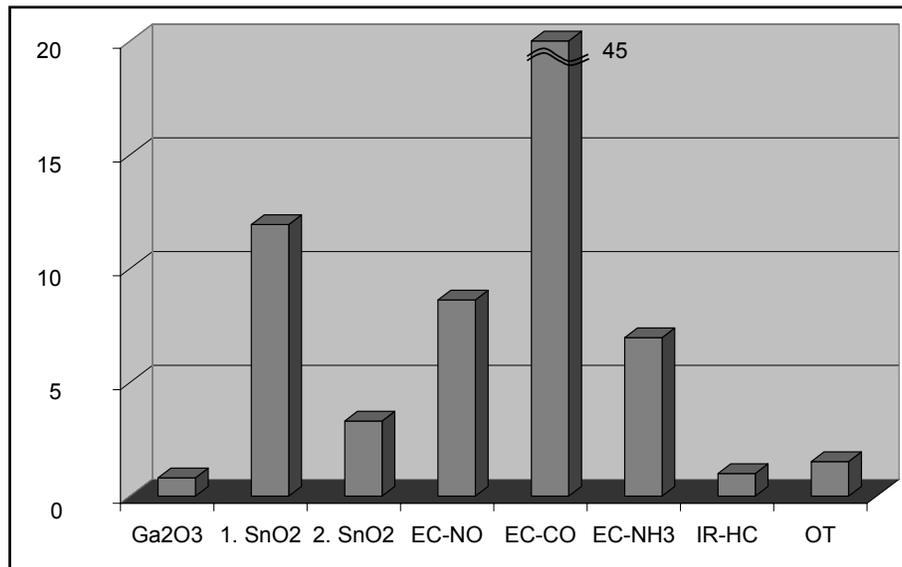


Abb. 5 – Brandsignal bezogen auf den maximalen Hintergrundpegel

Bei den elektrochemischen Zellen erweist sich eine CO-empfindliche EC-Zelle als am besten geeignet. Diese Aussage sollte jedoch nicht verallgemeinert werden, da CO ein Gas ist, das regulär bei vielen Produktionsprozessen frei wird. So zeigte sich bei einer Versuchsanordnung, die in einer Härterei installiert war, daß ein Hintergrundpegel von knapp unterhalb des MAK-Wertes permanent vorherrscht. Beim automatischen Beschicken der Öfen kann dieser Wert kurzzeitig überschritten werden, was dem Alarmpegel des hier durchgeführten Versuchsbrandes entspricht. Desweiteren sind EC-Sensoren für dauerhaften Einsatz in Atmosphäre, die mit dem Zielgas belastet ist, eher ungeeignet. Dort wird die prinzipbedingt begrenzte Lebensdauer solcher Zellen erheblich verkürzt.

Die klimatischen Einflüsse spielen im hier beschriebenen Anwendungsfall nur eine untergeordnete Rolle, da die Luftfeuchte nur geringe Änderungen aufweist und mit einem Mittelwert von ca. 50% rel. Feuchte bzw. 15g/m³ abs. Feuchte konstante Betriebsbedingungen für die Sensoren darstellt. Auch die Temperatur sollte keinen Einfluß auf das Arbeitsverhalten der Sensoren besitzen. Der Betrieb in einer geschlossenen Werkhalle läßt selbst im Winter keine für elektrochemische Sensoren kritischen Temperaturen von unter -10°C erwarten.

Auch im Sommer besitzt die Temperatur nur untergeordnete Bedeutung. Bei Temperaturen von bis zu 45°C muß dies nur bei der Wahl der Installationsorte entsprechender Brandmeldetechnik Beachtung finden, da Wärmepolster eine frühe Detektion verhindern.

Der eingesetzte optische Rauchmelder bestätigt die Erfahrungen des Betreibers mit der konventionellen Brandmeldetechnik. Fehlalarme durch Staubaufwirbelungen sind keine Seltenheit und Schwelbrände wurden bisher nur unzureichend detektiert bzw. erst nach Übergang zu einem offenen Brand erkannt.

7 Fazit

Als Ergebnis der Versuchsreihe wird eine Ergänzung der bestehenden Brandmeldeanlage durch gassensorische Branddetektoren als sinnvoll erachtet.

Eine Kombination von konventionellen Rauchmeldern mit Gassensoren eliminiert deren Staubempfindlichkeit. Hierbei bieten sich insbesondere elektrochemische Sensoren für CO und NH₃ an. Für diesen Sensortyp spricht weiterhin die geringe Stromaufnahme, was eine Integration in bestehende Brandmeldesysteme vereinfacht. Nachteile dieser Kombination sind der relativ hohe Preis der Sensoren sowie die sehr begrenzte Lebens- bzw. Einsatzdauer. Weiterhin wird das Detektionsverhalten gegenüber Schwelbränden im Vergleich zu einem reinen Rauchmelder nicht beschleunigt.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Einsatz sog. Schwelbrandmelder auf Basis mehrerer Halbleitersensoren. Deren Sensorelemente sind relativ kostengünstig und besitzen eine hohe Lebensdauer. Nachteilig wirkt sich der hohe Energieverbrauch sowie die komplexe Auswertung der Sensorsignale aus.

Zur Zeit wird ein erster kommerziell erhältlicher Schwelbrandmelder mit Halbleitersensoren [8] im Bereich der Papiermühle getestet und seine Signale im Meßsystem aufgezeichnet.

Literaturnachweis

- [1] Pfister, G.: Detection of smoke gases by solid state sensors – A focus on research activities; Fire Safety Journal; 6 (1983); Seite 165 – 174
- [2] Linden, O.; Hölemann, H.; Research on the Suitability of Gas Sensors for fire Detections; EUSAS-Workshop No. 10, The Detection of Combustible Gases in Connectionwith Fire Detection; Rauscholzhausen; 1998
- [3] Kubon, Ch.; Hölemann, H.; Linden, O.; Research on the suitability of gas sensor based fire detectors for various applications; VdS-Fachtagung, Gassensorik in der Brandmeldetechnik; Köln; 2000
- [4] N.N.: Gassensoren GGS, Produktinformation und Applikationshinweise; UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda; 1998
- [5] Fleischer, M.; Seth, M.; Kohl K. D.; Meixner H.; A study of surface modification at semiconducting Ga_2O_3 thin film sensors for enhancement of sensitivity and selectivity; Sensors and Actuators B – chemical; 35-36 (1996); Seite 290 ... 296
- [6] N.N.: Technical Data CO 3E 300, NO 3E 300, NH3 3E 200; SENSORIC Gesellschaft für angewandte Elektrochemie mbH; Bonn; 1998
- [7] N.N.: Datasheet – IR-Gassensor GS30; for CO_2 and HC; Sensor Devices GmbH, Dortmund; <http://www.home.t-online.de/home/sensor-devices>; 1998
- [8] Petig, H.; Kelleter, J.; Schmitt, D.; Gas Sensor Fire Detector Prove Effective in Coaling Plants; Global Risk Report; Allianz Versicherungs AG; 4 (1999); Seite 19 ... 22